Satelity i sztuczna inteligencja wspierają ochronę karaibskich raf koralowych

Karaiby, złożone z wielu wyspiarskich państw i rozwijających się gospodarek, w dużej mierze opierają swoją egzystencję na ekosystemach koralowych. Rafy w tym regionie – podobnie jak na całym świecie – mierzą się z narastającymi zagrożeniami. Naukowcy sięgają dziś po trójwymiarowy model wspierany sztuczną inteligencją, będący środowiskowym „*cyfrowym bliźniakiem*”, aby chronić ten cenny zasób.

Pełne życia rafy, zamieszkane przez egzotyczne gatunki morskie, stanowią główną atrakcję turystyczną wartego 50 miliardów dolarów przemysłu turystycznego na Karaibach. Te bogate, lecz wrażliwe siedliska są także źródłem pożywienia dla 43 milionów mieszkańców regionu. Dodatkowo sąsiadujące z nimi namorzyny chronią drogi, gospodarstwa, mariny i hotele przed niszczycielską siłą tropikalnych sztormów, które z roku na rok nasilają się w wyniku wzrostu temperatury oceanów.

Od lat 50. powierzchnia żywych koralowców zmniejszyła się o połowę, a liczba gatunków związanych z tymi ekosystemami – w tym wielu gatunków ryb, skorupiaków i innych morskich organizmów – spadła o co najmniej 63 procent. Mimo tych drastycznych strat, koralowce potrafią się odbudowywać, szczególnie tam, gdzie rządy wraz z przedstawicielami lokalnej gospodarki wdrażają dobre praktyki ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju.

– Ochrona przyrody to niełatwe zadanie – przyznaje Steve Schill, naukowiec zajmujący się danymi geoprzestrzennymi, który od 23 lat pracuje na Karaibach. – To bardzo złożony

problem, wynikający w dużym stopniu z działań człowieka i konieczności zmiany jego zachowań.

Schill, kierujący pracami naukowymi w organizacji The Nature Conservancy (TNC), uważa, że rozwiązanie problemu należy zacząć od stworzenia kompletnej mapy ekosystemów, opartej na danych teledetekcyjnych i obserwacjach terenowych. Wraz z zespołem – Valerie Pietsch McNulty, Catherin Cattafesta i Denise Perez – opracował środowiskowego „*cyfrowego bliźniaka*", który przedstawia szczegółowy, bogaty w dane obraz każdego ekosystemu rafowego w tym rejonie. Model łączy rozwiązania systemów informacji geograficznej (GIS) z danymi pozyskiwanymi z sensorów, satelitów, dronów, samolotów i podwodnych kamer, co pozwala uchwycić najdrobniejsze szczegóły raf, namorzynów i łąk trawy morskiej.

Model umożliwia też spojrzenie z szerszej perspektywy, ujawniając głębokie powiązania między płytkowodnymi ekosystemami. Celem jest szczegółowe zmapowanie ich rozmieszczenia, ocena kondycji oraz monitorowanie zmian w czasie. Taka wiedza jest niezbędna, aby skutecznie planować i dostosowywać działania ochronne do aktualnych warunków środowiskowych.

Cyfrowy bliźniak środowiska – na styku wody i lądu

Cyfrowe bliźniaki – wirtualne odwzorowania złożonych systemów – są powszechnie wykorzystywane w przemyśle, energetyce, na lotniskach i w miastach, aby uzyskać pełny obraz tego, jak różne elementy środowiska lub infrastruktury są ze sobą powiązane i jak zmiany w jednym obszarze wpływają na pozostałe.

Eksperci zajmujący się ochroną przyrody coraz chętniej sięgają po cyfrowe bliźniaki środowiskowe, szczególnie w projektach odbudowy ekosystemów czy eliminacji gatunków inwazyjnych.

Tworzone z wykorzystaniem systemów informacji geograficznej (GIS) pozwalają gromadzić kluczowe dane środowiskowe i budować dynamiczne modele naturalnych siedlisk, które można analizować pod kątem ich kondycji i równowagi. W połączeniu z czujnikami środowiskowymi i sztuczną inteligencją cyfrowe bliźniaki przyspieszają proces zrozumienia mechanizmów rządzących przyrodą.

Cyfrowy bliźniak Karaibów, stworzony przez TNC, obejmuje ponad 200 000 km² płytkowodnych siedlisk w całym regionie. To mozaika 35 000 zdjęć satelitarnych, z których każde przedstawia obszar lądu lub morza o powierzchni 150 km². Naukowcy wykorzystują ten model m.in. do oceny kondycji namorzynów i łąk trawy morskiej pochłaniających dwutlenek węgla. Dane te stanowią punkt odniesienia, który pozwoli w przyszłości śledzić zmiany w zasięgu i stanie tych ekosystemów.

Zobrazowania firmy Planet Labs z San Francisco dają specjalistom ochrony przyrody bardzo szczegółowy wgląd w płytkowodne siedliska – nawet do 30 m poniżej powierzchni. Codzienne zobrazowania optyczne dostarcza konstelacja niewielkich satelitów Dove. Nowe satelity Tanager wyposażono w kamery hiperspektralne rejestrujące setki pasm, co umożliwia zaawansowany monitoring gazów cieplarnianych, kondycji roślinności oraz występowania gatunków roślin i zwierząt.

Opracowanie mozaiki z tysięcy bezchmurnych zdjęć satelitarnych zajęło ponad rok. Najpierw trzeba było przeszukać ogromne archiwum, a następnie wybrać najlepsze ujęcia – bez chmur, ze spokojną taflą wody, minimalnym odblaskiem słońca i równomiernym oświetleniem, niezbędnym do wiarygodnej analizy spektralnej. Następnie obrazy ujednolicono pod względem jasności i kontrastu, stosując zaawansowaną korekcję kolorów opartą na analizie obrazu z wykorzystaniem sztucznej inteligencji.

Efektem jest bardzo szczegółowe odwzorowanie rozległych

ekosystemów, zawierające dużo użytecznych informacji. Po raz pierwszy interesariusze mają do dyspozycji spójną, regionalną mapę siedlisk przybrzeżnych. Zebrane dane pozwalają przybliżać obraz i śledzić kluczowe wskaźniki stanu: przejrzystość wody, gęstość namorzynów, strukturę raf koralowych oraz obecność glonów i innych organizmów. Aplikacje dokładnie pokazują, gdzie namorzyny zamierają, a gdzie się rozwijają –co pomaga ustalać priorytety działań i określać, gdzie w pierwszej kolejności kierować zasoby i działania.

Rafy koralowe na Karaibach tworzą podwodne ekosystemy, w których tysiące gatunków znajduje schronienie, pożywienie i tereny lęgowe w jednym z najbardziej zróżnicowanych biologicznie siedlisk na Ziemi.

Mikro- i makroperspektywa: łączenie danych terenowych z zobrazowaniami lotniczymi

Choć satelity i AI umożliwiają bardzo dokładne obserwacje, aby precyzyjnie monitorować stan raf koralowych i innych siedlisk przybrzeżnych, naukowcy często muszą nurkować. W teledetekcji

kluczowe jest łączenie i kalibracja zobrazowań z danymi terenowymi.

– To pozwala tworzyć bardziej dokładne mapy i mieć większą pewność co do wyników – wyjaśnia Steve Schill. – O jakości mapy decydują dwa elementy: wysokiej klasy zobrazowania i pełne dane z terenu

TNC regularnie prowadzi badania w terenie, często we współpracy z lokalnymi organizacjami. Loty dronami pozwalają z bliska potwierdzić to, co widać na zobrazowaniach satelitarnych, a podwodne kamery z GPS dokumentują siedliska dotknięte zjawiskiem bielenia koralowców. Zebrane dane terenowe są przypisywane do konkretnych współrzędnych i nanoszone w systemie GIS jako warstwy na mapę.

Połączenie danych terenowych i satelitarnych w jednym widoku daje pełniejszy obraz i zwiększa dokładność analiz. Dzięki temu można modelować rozprzestrzenianie się larw koralowców na setki kilometrów oraz szybko wskazywać miejsca podwyższonego ryzyka – tam, gdzie epizody bielenia mogą prowadzić do ubytku raf, albo gdzie huragany mogą uszkodzić lasy namorzynowe. Modele GeoAI, trenowane na danych przestrzennych z ArcGIS, prognozują, do jakich skutków mogą prowadzić różne formy działalności człowieka (np. przełowienie, zabudowa wybrzeża, zanieczyszczenia) – co widać bezpośrednio jako wzorce na mapie.

„*Wyzwaniem jest skłonienie państw, by patrzyły szerzej niż własne granice i uwzględniały regionalne powiązania wymagające wspólnej ochrony*” – podkreśla Schill. „Gatunki morskie nie znają granic, dlatego potrzebna jest współpraca w skali całego regionu.”

Jednolita, wiarygodna baza danych

przyspiesza działania ochronne w państwach wyspiarskich.

W wielu biedniejszych krajach ochrona przyrody często ustępuje miejsca pilniejszym. Pojawiają się jednak nowe, innowacyjne mechanizmy finansowania, które otwierają dodatkowe źródła środków na realne działania ochronne.

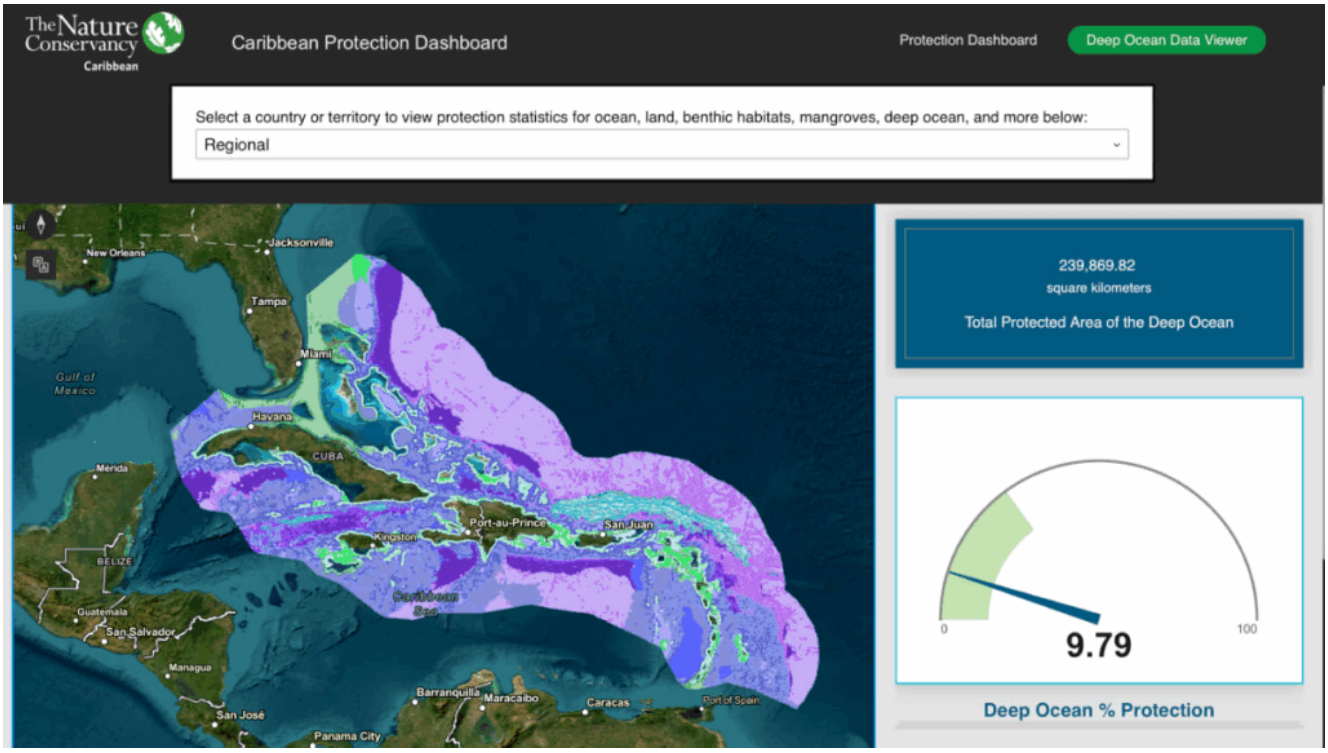
Dobrym przykładem jest Barbados, który pozyskał fundusze dzięki programowi TNC Nature Bonds – spersonalizowanej restrukturyzacji zadłużenia ukierunkowanej na realizację ambitnych celów środowiskowych. Kraj zobowiązał się objąć ochroną 30% swoich wód morskich i w ciągu najbliższych 15 lat otrzyma 50 mln USD na zarządzanie tymi obszarami.

Lepsze zarządzanie oceanami i ograniczanie konfliktów użytkowania przestrzeni morskiej wspiera morskie planowanie przestrzenne (MPP), które staje się standardem na świecie. Nauka odgrywa tu kluczową rolę – pomaga wskazać, gdzie wyznaczać nowe morskie obszary chronione i jak wspierać realizację celu 30×30 zapisanego w Kunming–Montreal Global Biodiversity Framework. – Współpracujemy z krajami, by przyspieszyć ochronę oceanów – podkreśla Schill. – Musimy działać szybciej, korzystając z najlepszej wiedzy naukowej, aby wskazać najważniejsze obszary, jednocześnie uwzględniając potrzeby różnych sektorów.

Ponieważ decyzje dotyczące ochrony w ogromnym stopniu opierają się na danych, współdzielenie informacji staje się warunkiem osiągnięcia celów w skali całego regionu. – Przez lata zbudowaliśmy ogromny zasób danych i dzięki technologii Esri udostępniamy go globalnie – tak, aby można go było łatwo znaleźć, przeszukiwać i ponownie wykorzystywać – mówi Schill.

Centralnym repozytorium jest Caribbean Science Atlas TNC – zestaw setek map, aplikacji i warstw danych, które są

gromadzone, zarządzane i udostępniane w środowisku GIS. Dzięki temu inicjatywy zrównoważonego rozwoju mogą szybciej przechodzić z planów do wdrożeń: od wyznaczania obszarów chronionych, przez monitorowanie siedlisk, po decyzje inwestycyjne zgodne z celami ochrony przyrody.



Panel ochrony Karaibów organizacji Nature Conservancy przedstawia historię ochrony przyrody za pomocą danych – sieć ponad 1300 obszarów chronionych, z których 19% powierzchni lądu i 10% powierzchni oceanu jest objętych ochroną. Ponieważ większość obszarów chronionych na morzu została ustanowiona na płytkich obszarach (poniżej 30 metrów głębokości), gdzie dostępne są bardziej szczegółowe dane, rządy są wzywane do rozszerzenia działań na 2,5 miliona kilometrów kwadratowych głębokiego oceanu pod ich jurysdykcją. Trwają prace nad modelowaniem siedlisk głębinowych oceanów, identyfikacją ważnych szlaków migracyjnych i lepszym zrozumieniem wzorców cyrkulacji między krajami.

Jak GIS pomaga chronić ludzi i ich źródła utrzymania

Zrównoważony rozwój jest ściśle powiązany z lepszym zarządzaniem lądem i obszarami morskimi. W świecie, w którym

zbyt często liczą się krótkoterminowe cele polityczne, złe decyzje prowadzą do degradacji środowiska. Dobre decyzje powinny zaczynać się od pytania „*gdzie*?”. Gdzie zbudować nadmorski kurort, by wyrządzić jak najmniej szkód rafom i namorzynom? Gdzie ograniczyć połowy, aby odbudować zasoby ryb? Gdzie sadzić namorzyny, by zmniejszyć skutki powodzi dla mieszkańców?

– Staramy się przekonać rządy, że inwestowanie w nadbrzeżne ekosystemy ma realną wartość ekonomiczną i społeczną. Politycy czy inwestorzy muszą podejmować trudne decyzje – mówi Steve Schill. – Naszym celem jest dostarczanie danych i narzędzi, które wspierają podejmowanie decyzji, korzystnych jednocześnie dla gospodarki i środowiska.

Mapy i modele GIS pozwalają przedstawiać skomplikowane analizy naukowe w formie czytelnej i zrozumiałej dla decydentów i zespołów operacyjnych.

Gdy Jamajski Czerwony Krzyż planował przeznaczyć środki na przygotowanie do klęsk żywiołowych w Old Harbour Bay – wyjątkowo narażonej społeczności na południowym wybrzeżu Jamajki – organizacja nawiązała współpracę z TNC. Zespół Schilla przeprowadził szybką ocenę stanu raf i namorzynów, wykorzystując zobrazowania satelitarne, drony, podwodne kamery oraz dane z badań hydrograficznych. Celem było udokumentowanie, jak te siedliska chronią ludzi przed sztormami i powodziami.

Wspólnie z mieszkańcami przygotowano szczegółową mapę kluczowych budynków, dróg i systemów odwadniających. – Zmapowaliśmy wszystko: infrastrukturę, rafy koralowe, lasy namorzynowe – wyjaśnia Schill. – Następnie wyznaczyliśmy mapy zagrożenia powodziowego dla kilku scenariuszy. Po dodaniu warstw z gęstością zaludnienia i danymi demograficznymi, określiliśmy rejony największego ryzyka zalania i jego skutków dla społeczności lokalnej.

Tak powstała mapa, łącząca wiele warstw danych, która dostarczyła opartą na faktach odpowiedź na złożone pytanie Czerwonego Krzyża: gdzie inwestować w przyrodę, aby najlepiej chronić ludzi? Stała się ona praktycznym planem kierowania funduszy na działania odtworzeniowe tam, gdzie przyniosą one największy efekt i najlepszy zwrot z inwestycji.

W Republice Dominikańskiej silne burze i potężne ulewy poważnie uszkadzały infrastrukturę krytyczną, doprowadzając do śmierci i poważnych obrażeń mieszkańców. Skalę zniszczeń potęgowały wylesienia na stokach pod nowe uprawy – znikające lasy przestawały spowalniać spływ wód z wyżej położonych terenów.

Dawniej modelowanie przepływów wymagało instalacji czujników na stokach i czekania na kolejną ulewę. Dziś, dzięki analizie geoprzestrzennej wspartej zobrazowaniami satelitarnymi i danymi z dronów, zespół Schilla może znacznie szybciej wyznaczać granice potencjalnych zalewów. Mapa łączy warstwę zasięgu powodzi z warstwami zabudowy i gęstości zaludnienia, dzięki czemu łatwiej wskazać obszary wymagające pilnych działań

– Chodzi o ograniczanie skutków powodzi i wyznaczanie obszarów, które z punktu widzenia przyrody powinny zostać odtworzone – wyjaśnia Schill. – To z kolei umożliwia projektowanie rozwiązań opartych na przyrodzie (ROP, ang. NbS).

Takie rozwiązania – np. odtwarzanie namorzynów, wdrażanie zielonej infrastruktury do retencji i oczyszczania spływów burzowych – często okazują się trwalsze i tańsze w utrzymaniu niż tradycyjna „*szara*” infrastruktura.

– Potrzeby różnią się w zależności od kraju: inne są narzędzia i zasoby potrzebne do zrobienia kroku naprzód – mówi Schill. – Stale współpracujemy z partnerami i pokazujemy na przykładach, że inwestycja w naturę po prostu się opłaca. Mapy są tu mocnym

argumentem.

Dwanaście państw karaibskich – m.in. Jamajka, Grenada, Antigua i Bahamy – zadeklarowało, że do 2030 roku obejmie ochroną 30% swoich wód i lądów. Cyfrowe bliźniaki środowiskowe, zasilane danymi teledetekcyjnymi i analizami AI, pomagają decydentom wskazać te 30% obszarów, które warto chronić w pierwszej kolejności.

– Nie zamierzamy rezygnować z tych celów – podkreśla Schill. – Kraje przyjęły ambitny plan, świadome ścisłego związku między ochroną mórz, a kondycją gospodarki.

W miarę zbliżania się do kolejnej dekady postępy są monitorowane na mapach i pulpitach analitycznych. Odsetek chronionych terenów rośnie wraz z dodawaniem nowych stref na mapie – działa tu też trochę *„pozytywnej presji”*, która mobilizuje kraje do szybszych działań.

W wyznaczaniu obszarów o największym znaczeniu dla ochrony przyrody pomagają narzędzia takie jak Marxan. Każde państwo ma własne priorytety, a TNC syntetyzuje informacje tak, by wspierały ich konkretne cele i procesy planistyczne.

Postępy są już widoczne. Od 2008 roku łączna powierzchnia obszarów chronionych niemal się potroiła. W całym regionie ochroną objęto ponad połowę namorzynów i ponad jedną czwartą raf koralowych. Na Dominikanie status ochronny ma ponad połowa raf i blisko 80% namorzynów. Saint Kitts i Nevis przyjęły pierwszy w skali kraju morski plan zagospodarowania przestrzennego, a Caribbean Biodiversity Fund zapewnia stabilne finansowanie dla wielu państw, które chcą lepiej chronić kluczowe siedliska.

Wraz z rozwojem agendy ochrony przyrody, GIS pozostanie kluczowym narzędziem – dostarczając danych i analiz, które pomagają odpowiedzieć na fundamentalne pytanie: gdzie znajdują się najważniejsze obszary do ochrony?